

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Spolehlivost spínacích přístrojů nn**

*LV switching apparatus reliability*

Prohlášení:

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.  
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

Datum odevzdání: 7.5.2010

Podpis: .....

Dovoluji si poděkovat Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc. za odbornou pomoc při zpravování bakalářské práce.

Rád bych také poděkoval svým rodičům za jejich podporu, kterou mi poskytovali po celou dobu mého studia.

## **Abstrakt**

Cílem této Bakalářské práce je nastínit problematiku spolehlivosti spínacích přístrojů nn, konkrétně zásuvky. Popisuji zde stručně význam spolehlivosti a metody k jejímu dosažení. V další části se zabývám způsobem jakým ovlivňují spolehlivost vlivy prostředí a stárnutí. Následuje popis zásuvky, kontaktů, výběr spolehlivostních parametrů a zvolení způsobu pro jejich sledování. V poslední části jsou uvedeny výsledky měření a závěrečné hodnocení.

## **Klíčová slova**

spolehlivost, jakost, zásuvka, kontakty, vlivy prostředí

## **Abstract**

The aim of this thesis is an overview of the reliability of low voltage switchgear, namely the outlet. I describe there briefly the importance of reliability and methods to achieve it. In the next section I deal the way, how the credibility of environmental influences and aging are working. Followed by a description of the socket, the contacts, the selection of reliability parameters and to select the method for their monitoring. The last section contains the results of measurement and the final evaluation.

## **Key words**

reliability, quality, socket, contacts, environmental influences

## Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Historické pozadí rozvoje teorie spolehlivosti .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Jakost a spolehlivost.....</b>	<b>5</b>
2.1 Definice spolehlivosti .....	5
2.2 Definice jakosti .....	6
2.3 Důležitost spolehlivosti .....	7
2.4 Metody na dosažení spolehlivosti .....	7
2.5 Ukazatele spolehlivosti.....	10
2.5.1 Ukazatele spolehlivosti neobnovovaných objektů.....	11
2.5.2 Ukazatele spolehlivosti obnovovaných objektů .....	12
2.6 Co považujeme za uspokojivou spolehlivost? .....	13
2.7 Obecné směrnice pro specifikace spolehlivosti .....	14
2.8 Výrobní opatření působící na spolehlivost. ....	15
<b>3 Vliv prostředí na spolehlivost v elektrotechnice.....</b>	<b>16</b>
3.1 Vliv teploty .....	17
3.1.1 Vliv vysoké teploty.....	17
3.1.2 Vliv nízké teploty .....	18
3.1.3 Vliv rychlých změn teploty .....	18
3.2 Vliv vlhkosti .....	18
3.2.1 Vliv vysoké vlhkosti .....	18
3.2.2 Vliv nízké vlhkosti.....	19
3.2.3 Vliv rychlých změn vlhkosti .....	19
3.3 Vliv elektrického pole .....	19
3.4 Vliv agresivních prostředí.....	20
3.5 Korozní vlivy .....	20
3.6 Vliv prachu .....	20
3.7 Vliv záření .....	21
3.8 Vliv mechanického namáhání.....	21
<b>4 Stárnutí.....</b>	<b>21</b>
<b>5 Zkoušky spolehlivosti.....</b>	<b>22</b>

<b>6 Zásuvky pro nízké napětí.....</b>	<b>23</b>
<b>7 Elektrické kontakty.....</b>	<b>24</b>
7.1 Vznik stykového odporu:.....	24
<b>8 Měření úbytků napětí.....</b>	<b>26</b>
<b>9 Závěr .....</b>	<b>32</b>
<b>Použitá literatura: .....</b>	<b>33</b>

## Úvod

V této bakalářské práci se zabývám problematikou spolehlivosti spínacích prvků nízkého napětí, zvláště pak jednofázových zásuvek.

V kapitole 1 popisuji historický vývoj teorie spolehlivosti technických objektů a uvádím přelomové období pro rozvoj této problematiky na kvalitativně vyšší úrovni.

Definice samotného pojmu „spolehlivost“ a „jakost“ je uvedena v kapitole 2. V další části této kapitoly je rozebrána důležitost spolehlivosti, popsány její ukazatele a metody k jejímu dosažení.

Kapitoly 3 a 4 jsou věnovány problematice vlivu prostředí, resp. stárnutí na spolehlivost. Jsou zde stručně popsány následky působení nejznámějších degradačních činitelů na elektrotechnická zařízení.

Se vznikem požadavků na spolehlivost výrobků souvisí nezbytnost zkoušek spolehlivosti, neboť je třeba dokázat splnění těchto požadavků. Základní rozdělení zkoušek spolehlivosti je uvedeno v kapitole 5.

Závěrečná část práce popisuje zásuvky nízkého napětí (kapitola 6), jsou zde uvedeny požadavky na elektrické kontakty (kapitola 7) a prezentovány výsledky měření zvoleného ukazatele spolehlivosti, právě pro zásuvky nízkého napětí (kapitola 8).

## 1 Historické pozadí rozvoje teorie spolehlivosti

„Již od doby kdy začal člověk používat různé nástroje a pomůcky, začal rozlišovat a hodnotit jejich jakost a spolehlivost. Již ve starověku byly řešeny problémy spolehlivosti staveb starověkých chrámů, pyramid, mostů, přehrad nebo kanálů. Jako příklad můžeme uvést 142 metrů vysokou věž gotické katedrály ve Štrasburku z druhé poloviny 13. století nebo asi o 100 let mladší most o rozpětí 72 metrů u Trezza přes Addu. K vytvoření těchto spolehlivých staveb ovšem vedli zkušenosti vykoupené nejistotou a nehodami. Předvídat chování kteréhokoli lidského výtvaru umožňuje totiž empirie spjatá s nežádoucími haváriemi a katastrofami a zobecněné poznání zákonitostí, kterým objekt podléhá.

Vznik a rozvoj teorie spolehlivosti technických objektů je spjat s dvacátým stoletím. S rozvojem využití poznatků vědy a techniky a rozvojem industrializace v tomto století totiž rostli i požadavky na spolehlivost technických objektů. Dvacáté století bylo doprovázeno nárůstem požadavků na konstrukci, výrobu a provoz zařízení, bloků a prvků. Došlo k nárůstu počtu komponent technických systémů, složitosti struktury, růstu nároků na vykonávané funkce a požadavků na prostorové rozprostření. Tímto vzrůstalo i nebezpečí selhání požadovaných funkcí a zvyšovaly se možné následky selhání.

Matematické základy teorie spolehlivosti začaly vznikat ve 20. letech dvacátého století při hodnocení spolehlivosti elektrických zařízení a telefonních sítí, kdy vznikají základy předpovídání poruch výrobků využitím statistických metod. Obor spolehlivosti vznikl na základě požadavků moderní vojenské techniky a zkušeností se složitými vojenskými systémy v období 2. světové války. Nová etapa rozvoje teorie spolehlivosti na kvalitativně vyšší úrovni začíná kolem roku 1950 v souvislosti s řešením úloh z vojenské, raketové a elektronické techniky. V roce 1956 vychází první příručka zabývající se analýzou spolehlivosti elektronických zařízení v závislosti na zatížení a obsahující modely výpočtu intenzity poruch. V 60. letech se začíná uplatňovat myšlenka, že důležitým faktorem pro dosažení spolehlivosti je zabezpečení jakosti v dílčích fázích životního cyklu výrobku. Řešení problémů zabezpečování spolehlivosti se tak posléze stalo součástí náplně problematiky řízení jakosti.

Předpoklady a záruky pro vytvoření kvalitních i spolehlivých výrobků mají v soudobé praxi zajistit tzv. systémy řízení jakosti. Jejich podstatou je vytvoření takových struktur a uplatnění takových prvků, které minimalizují možnost vzniku či dodání nekvalitních či nespolehlivých výrobků. Vytvořený a ověřovaný systém řízení jakosti výrobce či dodavatele umožňuje prokazovat a zaručovat způsobilost výrobce či dodavatele plnit specifikované požadavky.

Prověřování systému řízení jakosti může provádět nezávislý certifikační orgán, který může systém řízení jakosti certifikovat, tj. prověřit a zaručit, že zavedený a udržovaný systém řízení jakosti v organizaci vyhovuje stanoveným požadavkům. Nejrozšířenější systémy řízení jakosti používají standardů definovaných mezinárodní normou ISO 9000, jejíž první verze vyšla v roce 1987. Zavádění systémů řízení jakosti mělo v mnoha oborech výrazné pozitivní dopady v oblasti zabezpečování požadavků na spolehlivost a bezpečnost výrobků.



Studiem výkladu spolehlivosti ve světové literatuře lze dojít k poznání, že s postupem rozvoje teorie spolehlivosti se vyvíjelo i chápání pojmu spolehlivost. Celé období rozvoje teorie spolehlivosti je doprovázeno tendencí ujednecování poznatků a přístupů z různých průmyslových odvětvích.“[1]

## 2 Jakost a spolehlivost

„Na výrobky elektrotechnického průmyslu jsou kladeny široké požadavky vyplývající z vykonávaných funkcí, požadavků na bezpečnost, environmentální ohleduplnost a spolehlivost. Tyto požadavky se souhrnně označují jako požadavky na jakost výrobku. Běžně používané slovní spojení „jakost a spolehlivost“ označuje péči o jakost se zvláštním zřetelem na jednu z jejích nejvýznamnějších vlastností – spolehlivost.“[1]

### 2.1 Definice spolehlivosti

„Termín „spolehlivost“ se běžně používá ve dvou významech:

- 1) Spolehlivost jako pohotovost výrobku k použití, tj. pravděpodobnost, že výrobek bude v libovolném okamžiku schopen plnit stanovené funkce.
- 2) Spolehlivost jako bezporuchovost, tj. vysoká pravděpodobnost bezporuchového provozu“[1]

„Organizace EIA – Electronics Industries Association (Sdružení elektronického průmyslu) definuje spolehlivost takto:

„Spolehlivost je pravděpodobnost, že činnost zařízení bude během určené doby a v daných provozních podmínkách přiměřená účelu zařízení“. Tuto definici dnes uznává většina odborníků ve spolehlivosti a můžeme ji tedy považovat za obecně uznávanou.

Všimněme si, že v definici jsou zdůrazněny čtyři základní pojmy: pravděpodobnost, přiměřená činnost, doba a provozní podmínky. Tito čtyři činitelé jsou velice důležití a každý z nich hraje důležitou roli. Postupně si je všechny probereme.

Pravděpodobnost, první základní pojem z definice spolehlivosti, má kvantitativní charakter, neboť je vyjádřena jako číslo (zlomek nebo procento). Pravděpodobnost udává podíl součtu případů, v nichž můžeme očekávat při pokusu nějakou událost, k celkovému počtu pokusů. Tak např. tvrzení „pravděpodobnost  $P$ , že zařízení snese 50 hodin činnosti bez poruchy, se rovná 0,65 nebo 65%“ znamená, že pouze v 65 ze 100 případů můžeme očekávat, že nedojde během 50 hodin činnosti k žádné poruše.

Přiměřená činnost je druhý základní pojem z definice spolehlivosti, který již svým názvem ukazuje, že musí být stanoveno kritérium jasně specifikující, popisující nebo definující, co je považováno za uspokojivou činnost. Představme si např., že se porouchá jedna ze zapalovacích

svíček osmiválcového automobilového motoru; motor může v tomto případě klepat, avšak bude dále fungovat. Činnost zde můžeme považovat za přiměřenou, dojede-li automobil v předepsané době na místo určení. Když se však zcela porouchá motor, nebo když jen sotva funguje, potom nesporně nemůžeme považovat tento stav za přiměřenou činnost.

Třetí základní pojem z definice spolehlivosti, doba, je jedním z nejdůležitějších, neboť vyjadřuje časový interval, v kterém můžeme očekávat určitý funkční stav. Časové závislosti jsou základní koncepcí spolehlivosti; bez znalosti pravděpodobnosti bezporuchové činnosti v daném čase totiž nemůžeme určit pravděpodobnost úspěšného splnění úkolu, jehož trvání je vymezeno.

Provozní podmínky, které předpokládáme pro uvažované zařízení, jsou čtvrtým zásadním pojmem z definice spolehlivosti. Zahrnujeme sem mimo jiné takové typické činitele, jako je teplota, vlhkost, nárazy a chvění. Zkušenosti potvrzují, že každý z těchto činitelů má určitý vliv na činnost zařízení. Je tedy nutné zahrnout je do specifikací spolehlivosti. V opačném případě by totiž byla definice spolehlivosti relativně bezvýznamná.

V současné době se zavádí komplexnější pojetí spolehlivosti: Spolehlivostí rozumíme jisté vlastnosti *objektu*, které zaručují splnění požadavků kladených na jeho řádnou činnost za daných pracovních podmínek. Jde tu zejména o provoz bez poruch, opravitelnost, udržovatelnost, skladovatelnost apod. Kvantitativně se spolehlivost určuje různými číselnými charakteristikami.“[2]

„Pojem objekt je velmi široký, je možno za něj dosadit např. součást zařízení, funkční celek, systém apod. Při studiu spolehlivosti je nutno rozlišovat dva typy objektů:

- obnovované
- neobnovované

Obnova je přitom chápána jako vlastní přechod z poruchového do bezporuchového stavu činností označovanou jako oprava. Z toho důvodu se někdy používá také pojem opravovaný a neopravovaný objekt. Neobnovovaný může být objekt proto, že je neopravitelný (žárovka), je na nepřístupných místech (kosmické sondy) nebo např. jeho oprava není rentabilní.“[3]

## 2.2 Definice jakosti

„Jakost produktu je dána „souhrnem vlastností a znaků, které mu dávají schopnost uspokojovat stanovené nebo předpokládané potřeby“ [ČSN ISO 8402]. Tato definice může být rozšířena následujícími hledisky:

- jakost jako schopnost a způsobilost plnit požadavky funkce,
- jakost jako vlastnost charakterizující způsobilost výrobku k požadovanému použití,

- jakost jako schopnost splnit požadavky zákazníka po celou dobu životnosti,
- míra a stupeň, v němž výrobek odpovídá požadavkům užití (technickým, ekonomickým a sociálním).

Jakost konkrétního produktu je tedy dána tržní potřebou produktu, návrhem produktu, shodou produktu s návrhem a péčí o produkt. Je zřejmé, že jakost produktu ovlivňuje mnoho faktorů, které jsou dány jeho technickými, užitnými i doplňkovými vlastnostmi.“[1]

„V elektronickém průmyslu je mnoho různých norem, určujících technické podmínky výrobku a třídících vady výrobku z hlediska jakosti. Vady se zpravidla rozdělují na hrubé, podstatné a nepodstatné. Tohoto třídění se používá pro různé kategorie vad, jako jsou vady pájení, vady zapojení, vzhledové vady apod. U pájení např., nespájený nebo „studený“ spoj považujeme zpravidla za hrubou vadu, kdežto nedostatečné propájení může být označeno za nepodstatnou vadu. Je tedy zřejmé, že jakost je relativním měřítkem, neboť je určena normami a dohodami platnými pro ten či onen typ výrobku.

Zkušenost ukázala, že dobrá jakost je podstatnou složkou vysoké spolehlivosti, neboť špatné provedení může zkrátit dobu života výrobku a mít tak nepříznivý vliv na jeho spolehlivost.

### 2.3 Důležitost spolehlivosti

V dnešní době rozvoje vědy, kdy se používají rozsáhlá a složitá zařízení pro vojenské i vědecké účely, se stává vysoký stupeň spolehlivosti naprostou nutností. Selhání zařízení v kritickém okamžiku je vážným nebezpečím, ohrožujícím jak majetek, tak i lidské životy a národní bezpečnost. U složitých zařízení, která mají být velmi spolehlivá, musí tedy vykazovat jejich jednotlivé součásti vysoký stupeň spolehlivosti.“[2]

„Avšak při zvyšování spolehlivosti složitých systémů nelze jít pouze cestou zvyšování spolehlivosti prvků, ze kterých se systém skládá. Některé soudobé systémy (např. počítače a rakety) se skládají řádově ze sta tisíc součástí. I přes vysokou spolehlivost součástí může být systém nespolehlivý. Předpokládejme např., že se systém skládá ze 100 000 součástí, které pracují nezávisle na sobě a každá z nich se s pravděpodobností 0,99999 po sledovanou dobu neporouchá. Porucha každé z těchto součástí však způsobí poruchu systému. Potom pravděpodobnost, že se systém po sledovanou dobu neporouchá, je  $(0,99999)^{100000} = 0,368$ . Je proto zapotřebí použít jiných způsobů zvýšení spolehlivosti.“[5]

### 2.4 Metody na dosažení spolehlivosti

„Spolehlivost úzce souvisí s konstrukcí a používanou technologií. Různé konstrukce a různé technologie vytvářejí různé předpoklady pro zabezpečování spolehlivosti. „Proověřené“ technologie a materiály představují vždy odhadnutelnou záruku, protože s jejich použitím existuje soubor zkušeností.“[1]

„Architekt má poměrně snadnou práci s návrhem budovy, neboť zná dostatečné množství údajů o pevnosti stavebních materiálů. Rovněž má informace o stavbách podobných jeho návrhu. Stavitel si tedy může být jist, že budova postavená podle jeho plánů bude velice spolehlivá, neboť snese všechna uskutečnitelná zatížení, kterým může být vystavena po dlouhou dobu.

Stavební inženýr navrhující vysutý most má při své práci podobné výhody jako architekt. Kromě toho oba používají bezpečnostních součinitelů ve všech případech, v nichž mají nějaké pochybnosti o schopnostech některé konstrukční části, že vydrží určité zatížení. To znamená, že nedimenzují své konstrukce tak, aby snášely právě určené zatížení, nýbrž tak, aby mohly snést i zatížení větší. Některé z bezpečnostních součinitelů dosahují až čtyřnásobku ve srovnání s teoretickými požadavky. Finanční náklady bývají zpravidla jediným omezením stupně bezpečnostních součinitelů používaných ve stavebních projektech.

Inženýr-elektronik se musí naopak vypořádat při konstrukci nového výrobku s celou řadou omezení. V podobném postavení je i letecký konstruktér. Mezi omezení náleží cena, váha, objem a prostorové uspořádání. Kromě toho podléhají požadavky na konstrukci neustálým změnám a údaje o spolehlivosti použitých dílčích celků a součástí nejsou vždy dostupné. Konstruktér se tu proto musí uchýlovat k zvláštním postupům a k zdlouhavým zkouškám, aby dosáhl požadovaného stupně spolehlivosti při uložených omezeních.

Jeden z úspěšně používaných postupů je metoda předpovědi spolehlivosti. Jde tu o syntézu vlivu spolehlivosti různých dílů a součástí, obsažených ve vyvíjeném zařízení, a o výpočet celkové spolehlivosti, opírající se o určité statistické metody.

Hlavní výhoda předpovědi spolehlivosti spočívá v tom, že konstruktér získá jasný odhad dosažitelné spolehlivosti. Rovněž může zjistit ty součásti nebo konstrukční prvky, které nepříznivě působí na spolehlivost, a může pak rozhodnout, zda je třeba používat zálohování či jiné metody pro zvýšení spolehlivosti. Při zálohování dosazujeme více než jeden prvek pro zajištění lepší spolehlivosti. Porouchá-li se jeden prvek, nastupuje na jeho místo další. Není to nikterak nová metoda. Dvojitá kola u nákladních automobilů a u podvozků letadel jsou běžnou ukázkou zálohování. Porouchá-li se jedna pneumatika, vystačíme zpravidla s druhou až do té doby, kdy můžeme opravit poškozenou. V elektronickém zařízení můžeme použít paralelních odporů, takže při spálení jednoho odporu přebírá zátěž druhý. Zálohování je dobrá metoda, které může konstruktér používat. Je ovšem třeba, aby pečlivě uvažil všechny důsledky a zaručil, že zbývající neporušený prvek bude schopen zajistit správnou činnost a že nedojde k nežádoucím účinkům na jiné prvky zařízení, které by vyvolaly další potíže.

Jiná metoda zálohování používá přepínání. Porouchá-li se původní prvek, přepne se na jeho místo záložní. Příkladem je automatická telefonní ústředna. Volí-li účastník číslo a není-li příslušný krokový volič schopen provozu, přebírá jiný volič úkol propojit hovorovou cestu. Účastník je uspokojen a nemá ani ponětí, že v ústředně došlo k poruše voliče. Touto metodou se rovněž zaručuje nepřetržitá celková spolehlivost soustav, i když je součást nebo dílčí celek ve stavu poruchy.

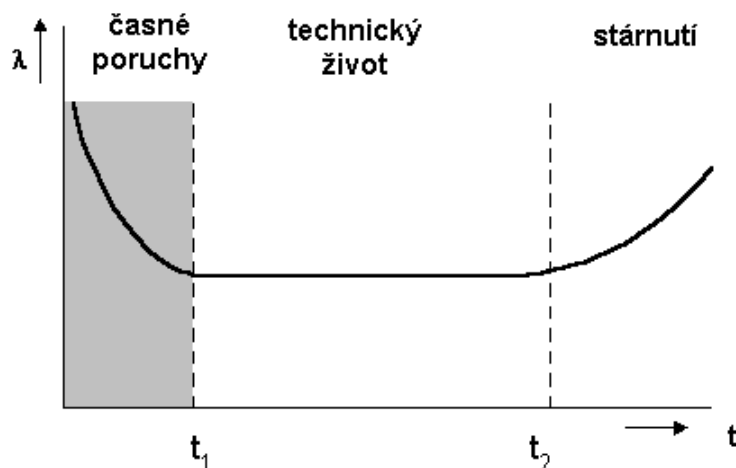
Jiný způsob zajišťování spolehlivosti zařízení jsou mezní zkoušky. Předepisuje je konstruktér jakožto metodu předpovědi pravděpodobnosti bližících se poruch. U elektronického zařízení mohou mezní zkoušky spočívat ve zjištění chování určitých součástí při napájení nejvyšším přípustným napětím. Tímto způsobem lze vyloučit opotřebené součásti a nahradit je dříve, než se u nich projeví skutečná porucha.

Při zajišťování vysoké spolehlivosti je rovněž třeba uvažovat udržitelnost. Mohou-li se rychle vyměňovat a nahrazovat díly zařízení, můžeme rychle opravit poruchu nahrazením vadné součásti nebo dílčího celku zařízení dobrým náhradním dílem. Muže-li být taková náhrada provedena rychle, je zařízení dobře opravitelné a jeho pohotovost je vysoká.

Promyšlená konstrukce umožňuje rychlou výměnu součástí a zaručuje tak nejkratší dobu prostoje při poruše. To znamená, že elektrické a mechanické tolerance jsou dostatečně široké, že zařízení bude pokračovat v činnosti po nahrazení součásti bez rozsáhlého nastavování a seřizování. Dále je třeba, aby se součásti daly vyměňovat rychle a bez demontáže okolních dílů.

Zabudovaná zkušební zařízení jsou další účinnou metodou zajišťování spolehlivosti. U elektronických zařízení se zpravidla používá zkoušejících obvodů, umožňujících jednoduše zjistit stisknutím tlačítka, zda určitý díl pracuje či nepracuje. Prostým stisknutím tlačítka a pouhým pohledem na patřičnou kontrolní žárovku se tak rychle dozvíme o správné činnosti určitého obvodu. Potom můžeme předepsat údržbáři postup, jak zkontrolovat, zda je celé zařízení i jeho jednotlivé části v provozuschopném stavu.

Jinou metodou pro dosažení vysoké spolehlivosti je tzv. zahořování. Zařízení obecně prochází při svém používání třemi samostatnými a zřetelnými obdobími (viz obr.1). První, počáteční období se vyznačuje poměrně vysokou intenzitou poruch zařízení a tedy i zvýšeným výpadem způsobeným „dětskými nemocemi“ zařízení. V druhém období je zařízení v normálním provozu a zkušenosti ukazují, že intenzita poruch je tu konstantní. Toto období se proto rovněž označuje jako období konstantní intenzity poruch. V třetím období se již projevuje opotřebení součástí, které způsobuje rychlý vzrůst četnosti a intenzity poruch. Rychlý vzrůst těchto charakteristik spolehlivosti je tak známkou, že zařízení zestárlo nebo se opotřebovalo.“[2]



obr. 1 Průběh intenzity poruch - vanová křivka [11]

„Zahořování používáme v počátečním období. Je to postup urychlující ukončení počátečního období tím, že výrobek necháváme v provozu, je-li třeba ve dne v noci, dokud se neprojeví všechny počáteční poruchy a nejsou odstraněny. Po zahoření předpokládáme, že je výrobek v druhém období, v období normálního provozu, v němž vykazuje konstantní intenzitu poruch a poměrně lepší spolehlivost.

Zkoušení na zničení je jiná metoda vylučování možných poruch. Vycházíme tu z předpokladu, že se součást vystavená nadměrnému zatížení předčasně porouchá. A naopak, přežije-li součást tuto zkoušku, považuje se za velmi spolehlivou v méně přísných podmínkách skutečného provozu. Tato metoda se jeví jako vynikající a pravděpodobně velmi účinná pro staticky namáhané součásti. Nauka o pevnosti materiálu je vlastně založena právě na tomto pojetí. Člen nosné konstrukce, jako trám nebo příhradový nosník, zajisté snese menší zatížení, než kterým byl zkoušen. Tato metoda má však naopak pro dynamická namáhání, jako je působení opakovaného zatížení nebo chvění, pochybnou cenu, nejsou-li při zkoušce napodobeny skutečné podmínky. To platí zejména pro elektronické obvody, neboť zde poruchy nejsou vždy způsobeny zvýšeným napětím nebo jiným krajním zatížením a přesné napodobení je proto obtížné. Mnoho poruch součástí je totiž důsledkem jejich nevhodného použití a neslučitelnosti s navazujícími obvody. Pro dynamicky namáhané součásti je proto účinnost zkoušení na zničení pochybná.

Jiný postup pro zajištění spolehlivosti, stanovený běžně v předpisech spolehlivosti, je vybírání součástí podle zvláštních zkoušek. Je to nákladná metoda a přitom není tak účinná, jak by se mohlo zdát. Pro většinu součástí zde provádíme stoprocentní zkoušení za mimořádných okolních podmínek. Tyto podmínky zpravidla předepisují střídání nízké a vysoké teploty, vlhkosti i vystavení součástí chvění a nárazům. Předpokládá se, že součásti, které přečkaly takové zkoušky, budou v konečném výrobku spolehlivě pracovat.

Vybírání součástí má četné nevýhody, z nichž některé typické uvedeme:

- 1) Metoda je nákladná a má pochybnou cenu.
- 2) Při zkoušení součástí nejsou vždy napodobeny podmínky provozu a použití.
- 3) Málo známe vliv těchto přísných zkoušek na samotné součásti. Při zkoušení může ve skutečnosti dojít k částečnému opotřebení místo k zvýšení spolehlivosti.“[2]

## **2.5 Ukazatele spolehlivosti**

„Číselné vyjádření spolehlivosti je bezvýznamné, není-li provázeno výčtem podstatných fyzikálních podmínek a popisem prostředí, při nichž se zjišťovala spolehlivost. Spolehlivost výrobku totiž musí být udána ve vztahu k jeho provozním podmínkám, neboť při jejich změně se mění i číselné charakteristiky vyjadřující spolehlivost.

Je např. klamné, inzeruje-li výrobce automobilů bez jakýchkoliv výhrad, že jeho automobily ujedou více než 100 000 mil, aniž by se musely vyměnit brzdy. Pochopitelně, zkouší-li se spolehlivost brzd na dálnicích, je třeba jen zřídka kdy brzdít. Kdežto při zkoušce na 100 000 mil v městském provozu můžeme očekávat větší opotřebení brzd, způsobené jejich častějším používáním.“[2]

### 2.5.1 Ukazatele spolehlivosti neobnovovaných objektů

„Ukazatele spolehlivosti mohou být popsány teoretickými a empirickými charakteristikami. Teoretické charakteristiky mají základ v počtu pravděpodobnosti, empirické charakteristiky jsou bodovým hodnocením statisticky oprávněného náhodného výběru. V teorii spolehlivosti je základní sledovanou náhodnou veličinou  $t$ , což je velikost časového intervalu od uvedení do provozu do poruchy objektu.

*Pravděpodobnost poruchy  $Q(t)$*  – pravděpodobnost, že v čase  $\tau \leq t$  dojde k poruše objektu. Je-li  $t$  čas měřený od uvedení objektu do provozu, pravděpodobnost poruchy objektu do času  $t$  je možno popsat distribuční funkcí

$$Q(t) = P(\tau \leq t) = \int_0^t f(t)dt, \quad (1)$$

kde  $f(t)$  je hustota pravděpodobnosti poruchy.

Pravděpodobnost poruchy  $Q(t)$  je možno vypočítat rovněž pomocí empirického vztahu

$$Q(t) = \frac{N_p}{N_0}, \quad (2)$$

kde  $N_p$  je počet výrobků porušených za sledovaný interval 0 až  $t$ ,  
 $N_0$  je počet výrobků ve zkoušeném souboru.

*Pravděpodobnost bezporuchového provozu  $R(t)$*  – pravděpodobnost, že v čase  $\tau \leq t$  nedojde k poruše objektu a lze ji popsat vztahem

$$R(t) = 1 - Q(t) = P(\tau > t) = 1 - \int_0^t f(t)dt. \quad (3)$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu  $R(t)$  lze vyčíslit také podle empirického vztahu

$$R(t) = \frac{N_b}{N_0} = 1 - \frac{N_p}{N_0}, \quad (4)$$

kde  $N_b$  je počet výrobků v bezporuchovém stavu.

*Hustota poruch  $f(t)$*  – je definována jako derivace  $Q(t)$  podle času

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt}, \quad (5)$$

přičemž součin  $f(t)dt$  udává, s jakou pravděpodobností nastane ve sledovaném objektu porucha ve velmi krátkém intervalu  $dt$ , následujícím za okamžikem  $t$ .

*Intenzita poruch*  $\lambda(t)$  – pravděpodobnost, že se objekt neporouchaný v čase  $t$  porouchá v malém časovém intervalu  $dt$  následujícím za časem  $t$ . Intenzita poruch patří k nejdůležitějším spolehlivostním ukazatelům používaným v praxi, a lze ji popsat vztahem

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - Q(t)}. \quad (6)$$

*Střední doba bezporuchového provozu*  $T_s$  – pro neobnovované objekty se označuje také jako střední doba do první poruchy MTTF (mean time to failure), je to střední hodnota provozní doby objektu, během níž nenastala žádná porucha. Pro její výpočet platí vztah

$$T_s = \int_0^{\infty} R(t) dt. \quad (7)$$

### 2.5.2 Ukazatele spolehlivosti obnovovaných objektů

Každý obnovovaný objekt prochází během svého technického života posloupností bezporuchových a poruchových stavů. Na počátku provozu se předpokládá bezporuchový stav. Pro obnovované objekty se místo ukazatele střední doby do poruchy používá střední doba mezi poruchami. Stanoví se jako aritmetický průměr všech naměřených dob bezporuchového provozu od skončení opravy do výskytu následující poruchy.

*Střední doba mezi poruchami*  $T_s$  – je možno ji vyjádřit vztahem

$$T_s = \frac{t_p}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{n}, \quad (8)$$

kde  $t_p$  je kumulativní doba provozu vypočtená jako součet všech dob provozu za sledované období

$n$  je počet výpadků způsobených poruchami.

*Intenzita poruch*  $\lambda$  – je převrácenou hodnotou střední doby bezporuchového provozu, lze tedy pro ni psát vztah

$$\lambda = \frac{1}{T_s}. \quad (9)$$

Intenzitu poruch systému lze také chápat jako střední frekvenci poruch systému.

MTBF (Mean Time Between Failures) – ukazatel, který se počítá jako střední doba od jednoho výskytu poruchy do následujícího výskytu poruchy. Do této doby je tedy zahrnuta i doba trvání opravy.



*Okamžitý součinitel pohotovosti*  $K_p$  – udává pravděpodobnost, že v čase  $t$  bude systém v provozuschopném stavu, je možno jej popsat vztahem

$$K_p = \frac{t_p}{t_p + t_o}, \quad (10)$$

kde  $t_p$  je kumulativní doba provozu  
 $t_o$  je kumulativní doba opravy.

*Střední doba opravy*  $T_o$  – je dána podílem kumulativní doby opravy a počtu poruch

$$T_o = \frac{t_o}{n}. \quad (11)$$

*Střední frekvence oprav*  $\mu$  – střední počet oprav, které lze s dostupnou opravářskou kapacitou uskutečnit za jednotku času a je možno pro ni psát vztah

$$T_o = \frac{1}{\mu}. \quad (12)$$

*Součinitel prostoje*  $K_n$  – je doplňkem součinitele pohotovosti do jedné a určuje se u něj okamžitá a ustálená hodnota.

Okamžitý součinitel prostoje  $K_n(t)$  – udává pravděpodobnost, že v čase  $t$  nebude systém provozuschopný.

Stacionární součinitel prostoje  $K_a = \lim K_n(t)$  pro  $(t \rightarrow \infty)$  udává pravděpodobnost, že v libovolně zvoleném okamžiku nebude systém provozuschopný.

*Součinitel technického využití*  $K_{tv}$  – je možno jej definovat vztahem

$$K_{tv} = \frac{t_p}{t_p + t_o + t_u}, \quad (13)$$

kde  $t_u$  je kumulativní doba plánované údržby.“[3]

## 2.6 Co považujeme za uspokojivou spolehlivost?

„Jak jsme viděli v předchozí části, spolehlivost měříme ve vztahu k uloženému úkolu. Ideálně bychom chtěli, aby bylo splnění úkolu stoprocentní, aby byl splněn ve všech případech. Avšak hlediska praxe ukazují, že tento ideál nelze vždy splnit. Příčinou mohou být konstrukční problémy, které musí být pevně rozhodnuty, nebo omezení finančních nákladů, nebo další činitelé, jako je čas, váha, prostor a údržba. Konstruktor musí uvážit všechny omezující činitele, aby našel optimální podmínky pro návrh nového výrobku. Může se např. spokojit s 95 % úspěšných provedení daného úkolu, musí-li splnit rozpočtové požadavky. Nebo může připustit nejdelší prostoj, potřebný pro opravu, a považuje každou opravu provedenou během této doby za známku uspokojivé činnosti. Toto poslední pojetí obsahuje princip pohotovosti.

Ve všech případech je hlavním účelem úvah o spolehlivosti zajistit úspěšné splnění úkolu. Proto je třeba jasně popsat uložený úkol, aby nevznikly pochyby o tom, co se vlastně musí provést. Popis má vymezit určitou volnost v plnění úkolu, která je přípustná, aniž považujeme splnění úkolu za neúspěšné. Konstruktor potom může přistoupit k návrhu a stanovit požadovanou spolehlivost vzhledem k patřičným provozním podmínkám.

## **2.7 Obecné směrnice pro specifikace spolehlivosti**

Dobré specifikace spolehlivosti musí obsahovat metody pro zjištění, že žádané spolehlivosti bylo skutečně dosaženo. Bylo napsáno mnoho specifikací, které jsou zcela všeobecné a postrádají podrobnosti, nezbytné k tomu, aby se mohlo vyhovět požadavkům na spolehlivost. Nastíníme tu proto základní body, které musí být obsaženy ve specifikacích spolehlivosti.

Účelné specifikace spolehlivosti mají, povšechně vzato, vymezit způsoby měření, hodnocení, zlepšení a předpovídání spolehlivosti. Každá specifikace má pro každý bod stanovit účel, místo, metody, potřebné přístroje, okolnosti a postupy. Podrobnosti každé specifikace v podstatě závisí na charakteristikách posuzovaného zařízení a na jejich důležitosti pro určení spolehlivosti.

V následujících bodech jsou krátce shrnuty nejdůležitější směrnice dobrých specifikací spolehlivosti:

- Definice zařízení nebo soustavy.
- Informace o stáří soustavy, výrobním stadiu a obměnách.
- Kritéria uspokojivé činnosti.
- Podklady pro časové výpočty.
- Popis provozních podmínek.
- Popis podmínek údržby.
- Definice selhání a poruchy.
- Definice provedení výběrů a výpočtů.
- Jiné úvahy.

## 2.8 Výrobní opatření působící na spolehlivost.

Je mnoho výrobních opatření, která mají vliv na spolehlivost výrobků. Nejdůležitější z nich je kontrola jakosti, která se uplatňuje v různých oblastech, jako je hodnocení provedení, výrobních postupů, materiálů, skladování i výdeje součástí a materiálů, hodnocení změn konstrukce a odchylek, dále při kontrole a zkoušení výrobků a materiálů a v mnoha dalších oblastech. Jak vidíme, výčet působnosti kontroly jakosti je rozsáhlý. Je však třeba si uvědomit, že posláním kontroly jakosti spočívá, jak již naznačuje její název, pouze ve vyhodnocování nebo kontrolování. Kontrola jakosti se např. zabývá vyhodnocením efektivnosti nějakého výrobního postupu, jako je třeba pokovování; avšak skutečné rozhodování a postupu pokovování nebo jeho rozplánování a další vývoj je zpravidla úkolem provozního inženýra.

V popředí zájmu kontroly jakosti je u výrobku provedení. Neodpovídá-li totiž provedení stanoveným požadavkům, může mít nepříznivý vliv na spolehlivost výrobku. Tak třeba nedokonalé pájení mívá zpravidla za následek skryté vady, které se konečně projeví ve zkrácení doby života elektronického zařízení. Obzvláště je tomu tak při studených spojích. Důsledkem je potom malá spolehlivost, nebyla-li ovšem včas taková skrytá vada objevena a opravena.

Známe dvě základní metody, jichž lze používat k zajištění dobrého provedení výrobků. První z nich je zavedení dobrých výrobních metod a postupů. Druhá metoda je pečlivá kontrola výrobků. Kontrolovat se může v různých fázích výrobního postupu; takovou kontrolu označujeme jako *mezioperační*. Kontroluje-li se hotový výrobek, jde o tzv. *výstupní* kontrolu.

Nejlepší metodou kontroly jakosti je kontrola výrobního postupu. Tato metoda je nejekonomičtější. Kontroloři tu vynášejí svá zjištění do regulačních diagramů, které ukazují, zda je výrobní postup v povoleném rozmezí, nebo zda z něho vybočil, zda je zapotřebí seřadit určitý výrobní stroj apod. Je vždycky lepší kontrolovat výrobní postup přímo během výroby než až po dokončení celé dávky výrobků. Kontrola po ukončení výroby bývá proto považována za zbytečné vydání. Většina výrobních postupů závisí na lidech a na strojích, u kterých nelze pochopitelně zaručit neomylnost. Kontrola je proto nezbytnou nutností pro zajištění výroby dobrých výrobků.

V každém případě (bez ohledu na to, zda je dobré provedení výsledkem dobré výrobní metody, účinné kontroly, nebo jak metody, tak i kontroly) má kontrola jakosti nejdůležitější úlohu při zaručování, že výrobek skutečně odpovídá stanoveným jakostním normám.

Na spolehlivost výrobku dále působí volba skladování a jakost použitých materiálů i součástí. Předepíše-li konstruktér nedopatřením nevhodnou dvojici různých materiálů pro stýkající se součásti, může dojít ke korozi. Při dobře prováděné kontrole jakosti se pravděpodobně zjistí včas tento nedostatek a může být napraven. Mohli bychom vyjmenovat mnoho případů, jak mohou materiály působit na spolehlivost. Skryté vady jsou totiž zpravidla způsobeny nesprávným použitím materiálů nebo špatným zacházením s nimi. Např. kyselá pájka sice zaručuje dočasně dobrý spoj, později však podléhá korozi, a proto má nepochybně nepříznivý vliv na spolehlivost.

Nevhodné skladování materiálu může mít za následek jeho pokažení, které se pravděpodobně projeví v malé spolehlivosti vyráběného zařízení. V jednom případě bylo např. zjištěno, že se kovové součásti skladovaly v blízkosti galvanizačního oddělení a byly zasaženy korozivními výpary. Součásti byly později nastříkány nátěrem. Stopy kyselin, které zůstaly pod vrstvou nátěru, zavinily loupání nátěru, což mělo nepříznivý vliv na spolehlivost výrobku.

Nesprávným zacházením na montážní lince nebo na jiných místech se mohou součástky poškodit. Každé poškození, i sebe nepatrnější, může mít nepříznivý vliv na spolehlivost. V jednom případě byly např. choulivé součásti elektronického zařízení pro mikrovlnnou oblast znečištěny kovovými třískami, které zavinily odírání součástí. Důsledkem bylo zkrácení doby života součástí, což se dále projevilo v podstatném snížení spolehlivosti výrobků.

Kontrola jakosti má své důležité místo rovněž v poloprovozní výrobě a při ověřování nových konstrukcí výrobků. Je dobře známo, že nový výrobek prodělá několik konstrukčních změn, než se zařadí do běžné výroby. V některých případech, ať již způsobených potřebou rychlé dodávky nových výrobků, nebo nedostatečnou obezřelostí, napíše konstruktér specifikace nového výrobku podle neúplných nebo nedostatečných údajů. Dostanou-li se takové specifikace beze změn do výroby, buď se podle nich nedá vůbec vyrábět, nebo se v továrně musí udělat drahá přizpůsobení nebo výběr součástí pro montáž. Montáž z vybraných součástí je velmi nákladná a nežádoucí, neboť se musí pečlivě vybírat k sobě se hodící součásti, aby se z nich dal sestavit spolehlivý výrobek. V poloprovozní výrobě se ještě mohou zavádět konstrukční změny podle objektivních zjištění, a právě proto v poloprovozní výrobě může kontrolor ovládající statistické metody vykonat největší kus práce. Kontrolor tu sbírá údaje pro analýzu výrobních postupů. Podle statistické analýzy pak rozhodne, zda je, či zda není výrobní postup v souladu se specifikacemi. Závěry z kontroly jakosti se dále posuzují z hlediska spolehlivosti a výroby. Tak se dochází ke konečnému rozhodnutí, zda se musí výrobek překonstruovat, či zda se pozmění specifikace nebo výrobní postup.

Kontrola jakosti vystupuje ještě v mnoha jiných směrech, které se podílejí na zlepšení spolehlivosti výrobků. Oddělení kontroly jakosti zkoumá odchylky od předepsaných specifikací a má právo neschválit výrobu při zhoršení jakosti nebo spolehlivosti. Toto oddělení provádí rovněž výběrové zkoušky spolehlivosti, nebo na ně dohlíží. Shromažďují se tu údaje o zkouškách a informace o poruchách a analyzují se, nebo se informace předávají odborníkovi na spolehlivost, aby podle nich určil potřebné konstrukční úpravy. Oddělení kontroly jakosti obecně zodpovídá za zajištění účinné soustavy hlášení poruch, která zaručuje spolehlivé údaje o poruchách a včasná nápravná opatření.“[2]

### **3 Vliv prostředí na spolehlivost v elektrotechnice**

„Elektrická a elektronická zařízení jsou při výrobě, transportu i exploataci vystavena vlivu různých činitelů, které v nich vyvolávají změny fyzikálního nebo chemického charakteru a ovlivňují tak vlastnosti materiálů, vlastnosti a funkci prvků a součástek a tím i spolehlivost a životnost celého zařízení. Uvedenými činiteli jsou jednak podnební fyzikální jevy (teplota, vlhkost, záření, biologické vlivy), vlivy prostředí (například průmyslové znečištění atmosféry)

nebo vlivy provozní, vyvolané vlastním provozem zařízení (například vliv elektrického pole) nebo provozem sousedních zařízení.“[3]

„Zjednodušení problematiky degradačních činitelů, spočívá v utřídění variability působení činitelů podnebního a provozního namáhání. Prvým hlediskem je délka trvání různých dějů znehodnocování. Délky trvání různých dějů se od sebe značně liší. Některé trvají sekundy, jiné desítky let. Děj vyvolaný kritickou extrémní intenzitou nebo kritickou změnou intenzity činitele proběhne v krátké době. Děj vyvolaný kritickou četností intenzity nebo kritickým trváním intenzity činitele probíhá velmi dlouho. Znehodnocování (stárnutí) vyvolaná ději trvajícíchmi nejvýše dny, což jsou děje vyvolané kritickou velikostí nebo kritickou změnou činitelů lze v laboratorních podmínkách modelovat bez urychlení. Znehodnocování vyvolaná ději trvajícíchmi měsíce a déle (děje s dlouhou časovou konstantou) je nutné modelovat v laboratoři urychlením průběhu děje.

Dalším hlediskem k utřídění variability působení činitelů namáhání je hledisko vycházející z povahy vyvolaných znehodnocení. Působením činitelů namáhání dochází ke znehodnocováním, které jsou z hlediska zotavení, povahy *trvalé* (permanentní), *přechodné* (tranzitní), *vrátne* (reverzibilní). Trvalá znehodnocení materiálů jsou taková, která nepominou ani když velikost činitele prostředí, který je vyvolal klesne v určitém časovém období pod kritickou velikost a přestane v tomto období vyvolávat znehodnocení. Přechodná znehodnocení materiálů jsou taková, která zčásti nebo zcela pominou jakmile velikost činitele prostředí klesne v určitém časovém období pod kritickou velikost. Pominou buď samovolně nebo působením jiných činitelů.

Modelování a předpověď děje musí proto respektovat jak variabilitu intenzity činitelů v kritické oblasti, kterou je vyvoláno znehodnocení, tak i variabilitu intenzity činitelů v podkritické oblasti, kterou je vyvoláno zotavení. “[3]

### 3.1 Vliv teploty

„Teplota vzduchu a její změny představují jeden z hlavních činitelů ovlivňujících bezporuchovou činnost elektrických zařízení. Vznik a změny teploty vznikají v důsledku změn teploty proudícího vzduchu, při provozu zařízení ve venkovním prostředí rovněž vlivem slunečního záření, mimo to pak vybavováním tepla uvnitř zařízení při jeho provozu. Vzhledem k poměrně odlišným účinkům vysokých a nízkých teplot je vhodné vliv teploty rozdělit na:

- vliv vysoké teploty
- vliv nízké teploty
- vliv rychlých změn teploty

#### 3.1.1 Vliv vysoké teploty

Vysoká teplota způsobuje mechanickou deformaci materiálů vznikající v důsledku nestejně lineární roztažnosti materiálů, které jsou spolu spojeny. Deformace tohoto typu mohou nastat

i v případě stejnorodého materiálu, avšak při nesteromerném zahřívání. Dále způsobuje měknutí a tavení termoplastů, což může způsobit vážné poruchy například u kabelových spojek nebo zalévaných slaboproudých součástek. Vysoká teplota je příčinou poklesu elektrického odporu izolantů. Pokles povrchového i vnitřního odporu jako funkce teploty je nelineární a jeho průběh se pro různé materiály značně liší. Se vzrůstající teplotou klesá i elektrická pevnost izolantů. Elektrický odpor vodičů s teplotou vzrůstá, což v důsledcích představuje například pokles výkonu strojů nebo pokles jakosti cívek. Vysoká teplota se projevuje též zhoršením přechodového odporu kontaktů.

### **3.1.2 Vliv nízké teploty**

Působení nízkých teplot na materiály a elektrická zařízení lze charakterizovat následovně:

Přímý účinek nízké teploty na materiály – příkladem jsou rozměrové změny materiálů, tuhnutí mazacích prostředků, které mohou mít za následek narušení chodu zařízení, dále vratné či nevratné změny vlastností plastů.

Sekundární účinek nízké teploty – během dlouhodobých period mrazu jsou elektrická zařízení v nevytápěných budovách energetické rozvodné sítě značně chladná. Stoupne-li náhle venku teplota a má-li vzduch možnost vniknout do budovy, kondenzují vodní páry na chladných částech zařízení. Na námrazu jsou náchylné zejména spínací přístroje a měřicí transformátory. Nepříznivé účinky má i podchlazení stroje v němž dochází ke kondenzaci vlhkosti, což může vést k průrazu vinutí.

### **3.1.3 Vliv rychlých změn teploty**

Časové změny teploty závisí na klimatických podmínkách daného klimatického pásma a na rychlosti atmosférických změn. K rychlým změnám teploty dochází i při rychlém přemístění zařízení, např. při letecké přepravě. Změny teploty mohou způsobit nebezpečná pnutí v některých částech zařízení, rozvrstvování laminátů, ztrátu hermetizace zapouzdřených součástek apod.“[3]

## **3.2 Vliv vlhkosti**

„Vlhkost vzduchu a její účinky jsou vedle teploty vzduchu dalším z hlavních činitelů ovlivňujících bezporuchovou činnost elektrotechnických zařízení. Nejvýznamnější problémy způsobuje vysoká vlhkost vzduchu.

### **3.2.1 Vliv vysoké vlhkosti**

Vysoká vlhkost ovlivňuje nepříznivě elektrické vlastnosti elektrotechnických výrobků, zvláště organických izolantů. Tento vliv bývá v některých případech bezprostřední (například vliv na povrchové vlastnosti izolantů), v ostatních případech je změna vlastností závislá na rychlosti

pronikání vlhkosti do materiálů, jež probíhá ve většině případů procesem difúze. Voda pohlcená materiálem značně ovlivňuje jeho elektrické a mnohdy i mechanické vlastnosti. Vlhkost snižuje izolační odpor a elektrickou pevnost izolantů. Nezanedbatelné jsou také chemické změny. Vysoká vlhkost často způsobuje hydrolýzu, například olejové laky se mohou rozpouštět. Produkty hydrolýzy mohou vyvolat intenzivní korozi kovů. Vysoká vlhkost bývá také provázána mikrobiální korozi.

### **3.2.2 Vliv nízké vlhkosti**

Při nízké relativní vlhkosti vzduchu mohou izolanty vysychat, což je provázáno změnami objemu a deformacemi součástek a prvků vyrobených z těchto materiálů. Nízká vlhkost vzduchu je pro elektrická zařízení obecně méně nebezpečný činitel než vysoká relativní vlhkost.

### **3.2.3 Vliv rychlých změn vlhkosti**

Rychlé změny vlhkosti vzduchu se projevují například hromaděním vody v uzavřených dutinách. Vniká-li do uzavřeného prostoru vodní pára a dojde-li k častěji opakovaným změnám teploty, při nichž se vodní pára sráží, hromadí se postupně v uzavřeném prostoru kapalná voda. Stejněho fyzikálního charakteru je srážení vodní páry v úzkých spárách. Orosení zrychluje korozi kovů.“[3]

## **3.3 Vliv elektrického pole**

„Elektrickému namáhání je izolace vystavena po celou dobu provozu zařízení. Při klasifikaci vlivu elektrického namáhání na zařízení je nutno rozlišit vliv stejnosměrného a střídavého elektrického pole.

Stejnosemné elektrické pole nemá na provoz zařízení podstatný vliv, výjimku tvoří vysoké gradienty elektrického pole, které mohou vést k předprůrazovým stavům.

Ve střídavých elektrických polích dochází k narušování izolací částečnými výboji, které vznikají v plynových dutinkách uvnitř izolace nebo na rozhraní dielektrik různé permitivity. Výboje v dutinkách způsobují v izolacích chemické a fyzikální změny, které jsou zpravidla nevratné a jsou spojeny se zhoršováním elektrických vlastností izolace. Při působení částečných výbojů dochází k následujícím dějům:

- přímé účinky bombardování povrchu dutin elektrony nebo ionty,
- účinky záření vznikajícího při výbojích,
- chemické působení zplodin, vznikajících při výbojích,
- tepelné účinky,
- účinky lokálního zvýšení gradientu na konci výbojového kanálu.“[3]

### 3.4 Vliv agresivních prostředí

„Chemicky agresivní prostředí obsahuje chemicky agresivní látky v plynné, kapalně nebo pevné fázi. Z hlediska vlivu na elektrická zařízení jsou zvláště nebezpečná prostředí závodů chemického průmyslu. Podmínkou agresivního působení většiny anorganických exhalací je přítomnost kapalné vody, v níž se exhalace rozpouštějí. Ionty, které vzniknou, ovlivňují přímo elektrické vlastnosti, jestliže jde o izolační nebo konstrukční nevodivé materiály, nebo urychlují korozní pochody elektrovodných a konstrukčních kovových materiálů. Elektrické vlastnosti a korozi ovlivňují i další agresivní složky atmosféry – sirovodík, solná mlha, organická rozpouštědla, prostředí s rozkladnými produkty SF<sub>6</sub> a jiné.“[3]

### 3.5 Korozní vlivy

„Koroze je definována jako samovolně probíhající děj znehodnocování materiálů (kovových i nekovových) působením prostředí. Příčinou koroze jsou především elektrochemické reakce. Faktory vyvolávající korozi jsou velmi rozmanité a podle jejich zastoupení a vzájemných interakcí nabývá koroze různých forem a má různý časový průběh. Faktory, které ovlivňují korozi zahrnují vlastnosti samotného kovu, mechanické a jiné fyzikální vlivy, vlastnosti vnějšího prostředí a v neposlední řadě i faktory, které se druhotně vytvářejí v průběhu korozního procesu, např. korozní zplodiny.

Výrazný vliv na zmenšení ztrát korozí má správná volba materiálu, protikorozní ochrany, vyhovující konstrukce a pečlivé provedení. Z hlediska volby materiálu se respektují nejméně příznivé podmínky, v nichž bude výrobek provozován. Je nutno brát ohled na to, že korozní vlastnosti součástky závisí nejen na vlastnostech základního materiálu, ale také na způsobu zpracování, resp. opracování.“[3]

### 3.6 Vliv prachu

„Prach obsažený v ovzduší je možno podle původu rozdělit na prach anorganický přírodní (písek, vulkanický prach, solné částice), anorganický průmyslový prach (vzniká při spalování, cementový prach) a organický prach (např. zárodky plísní, pyl, textilní prach). V důsledku mikroskopických rozměrů se částice prachu neusazují pouze na povrchu součástí, nýbrž mohou pronikat velmi jemnými štěrbinami do uzavřených prostor elektrických zařízení. Rychlost průchodu prachové částice štěrbinou závisí na hmotnosti částice, teplotě prašného prostředí, velikosti štěrbin a stavu jejího povrchu.

Prach může vyvolat znehodnocení mechanického charakteru (rychlé opotřebení pohyblivých částí, např. ložisek), ovlivňovat elektrické vlastnosti materiálů a prvků, zejména za přítomnosti vysoké vlhkosti vzduchu (např. povrchový odpor izolátorů). V podmínkách nízké vlhkosti může suchý prach způsobit vznik nebezpečných elektrostatických nábojů.“[3]



### 3.7 Vliv záření

„Nejzávažnějším činitelem je sluneční záření. Vlivem infračervené části slunečního spektra přesahují povrchy předmětů často i o 40 °C teplotu vzduchu ve stínu. Škodlivá je i jeho ultrafialová část. V důsledku těchto faktorů dochází k popraskání a křehnutí izolačních materiálů.“[3]

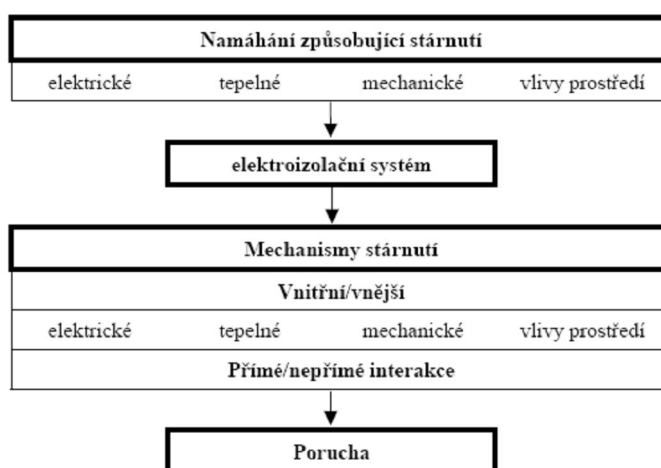
### 3.8 Vliv mechanického namáhání

„Během transportu i provozu jsou elektrická zařízení vystavena četným mechanickým vlivům, jako jsou údery, otřesy a vibrace. Na mechanické vlivy jsou citlivé zejména jemné mechanické, elektromechanické, elektrické a elektronické prvky.

Důsledkem mechanických namáhání bývá změna nastavených hodnot součástek s mechanickou regulací, ztráta kontaktních spojení, deformace součástek atd.“[3]

## 4 Stárnutí

„Stárnutí je definováno jako nevratné změny vlastností v důsledku působení jednoho nebo více ovlivňujících faktorů. Namáhání způsobující stárnutí může vyvolávat buď vnitřní nebo vnější stárnutí. Vnitřním stárnutím se rozumí nevratné změny základních vlastností výrobku vyvolané působením faktorů stárnutí, vnějším stárnutím vliv nevratných změn vlastností vytvořených působením faktorů stárnutí na neúmyslně zavedené vady ve výrobku. Provozní životnost elektrického zařízení je často určována životností jeho elektroizolačního systému (elektroizolačních systémů). Životnost elektroizolačního systému může být ovlivněna elektrickým, tepelným, mechanickým namáháním nebo namáháním vlivy okolního prostředí, která působí buď jednotlivě nebo v kombinaci.“[3]



obr. 2 Schéma stárnutí elektroizolačního systému

## 5 Zkoušky spolehlivosti

„Se vznikem požadavků na spolehlivost výrobků souvisí nezbytnost zkoušek spolehlivosti, protože je třeba dokázat splnění těchto požadavků. Zkoušky spolehlivosti jsou základním prostředkem pro zjištění a kontrolu spolehlivostních ukazatelů. Principy používaných zkoušek spolehlivosti jsou založeny na teorii pravděpodobnosti a matematické statistice. Zkoušky spolehlivosti se všeobecně dělí především podle těchto hledisek:

- podle cílů, které se zkouškami sledují,
- podle určených nebo ověřovaných spolehlivostních ukazatelů,
- podle doby trvání,
- podle místa realizace.

Podle cílů se zkoušky spolehlivosti dělí na *určující* a *ověřovací* (kontrolní). Podle určených nebo ověřovaných spolehlivostních ukazatelů jsou nejběžnějšími zkouškami spolehlivosti zkoušky bezporuchovosti. Podle doby trvání mohou být zkoušky spolehlivosti realizovány jako *dlouhodobé*, *zkrácené* nebo *zrychlené*. Podle místa realizace se zkoušky spolehlivosti dělí na *laboratorní* a *provozní*.

Cílem určujících zkoušek spolehlivosti je zjistit skutečné hodnoty požadovaných ukazatelů spolehlivosti výrobků. Nejčastěji požadovanými ukazateli jsou střední doba do poruchy nebo střední doba mezi poruchami a intenzita poruch  $\lambda$ . Určující zkoušky spolehlivosti se proto řadí mezi zkoušky základní.

Ověřovací zkoušky spolehlivosti slouží k ověření toho, zda hodnoty ukazatelů spolehlivosti výrobků vyhovují požadavkům či nikoliv. Jsou tedy vhodné při kontrolách a přejímkách. Většinou se jimi ověřuje úroveň pravděpodobnosti bezporuchového provozu. Hodí se však i pro ověření dalších ukazatelů, jako životnosti, opravitelnosti a skladovatelnosti, je-li to požadováno.

Laboratorní zkouška spolehlivosti je ověřovací nebo určující zkouška vedená ve stanovených a kontrolovaných klimatických podmínkách a v režimech, které mohou, ale nemusí simulovat provozní podmínky. Laboratorní zkoušky mají mnoho výhod, neboť umožňují:

- vytvoření přesně zadaného režimu pro zkoušený soubor,
- kontrolu dodržování stanovených kritérií poruch a podmínek zkoušky,
- provedení zkoušky v mezních řízených podmínkách,
- průběžné analyzování poruch,
- unifikování zkušebních režimů a způsobů vyhodnocování výsledků,
- optimální organizování průběhu zkoušky.

Provozní zkouška spolehlivosti je ověřovací nebo určující zkouška, uskutečňovaná při provozu zařízení, v němž jsou sledované součástky použity. Při této zkoušce jsou zaznamenávány skutečné podmínky a okolnosti, za nichž je spolehlivost zkoušena. Provozní zkoušky jsou obvykle spojeny s obtížemi především organizačního rázu. Mají ovšem nenahraditelný význam

pro získání objektivních údajů o chování součástek při působení všech vlivů, které nelze při laboratorních zkouškách postihnout.

Dlouhodobé zkoušky jsou základním typem laboratorních zkoušek spolehlivosti součástek. Jsou uskutečňované ve jmenovitém provozním režimu. Svým charakterem se nejvíce přibližují skutečnému provozu a jejich výsledky jsou etalonem pro zkoušky zrychlené i zkrácené. Při těchto zkouškách se simulují různé vlivy prostředí a měří se stanovené parametry zkoušených součástek při začátku zkoušky a dále v předem stanovených časových intervalech.

Zrychlená zkouška spolehlivosti je zkouška, při které se zrychluje mechanismus poruch, např. zvětšením zátěže nebo zrychlením časového průběhu oproti normálnímu provozu. Obecně se na zrychlené zkoušce požaduje, aby z chování určitého souboru součástek téhož typu, podrobených zvýšenému namáhání, bylo možné předvídat časový průběh sledovaných parametrů při nižších úrovních namáhání.“[3]

## 6 Zásuvky pro nízké napětí

„Zásuvka je elektrotechnická součástka, která slouží pro připojení elektrických spotřebičů k elektrorozvodné síti. Zásuvka tvoří nepohyblivou část zásuvkového spojení. Protikusem je vidlice (zástrčka). Zásuvka je pevně spojená se stěnou budovy, rozvaděče nebo stroje. Vidlice je součástí pohyblivého přívodu (kabelu) k jinému elektrickému zařízení, nebo je přímo částí tohoto zařízení (zásuvkový adaptér).

Zásuvky jsou konstruovány pro opakované spojování a rozpojování bez použití nástrojů. Svou konstrukcí umožňují manipulaci i naprostým laikům bez elektrotechnické kvalifikace. Toho se dosahuje důsledným dodržováním principu použití obnažených kontaktů (kolíků) na straně spotřebiče a maximálně skrytých kontaktů (dutinek) na straně zdroje energie. Na straně zdroje zůstává odkrytý pouze zemní kontakt, upravený tak, aby byl první, který se spojí a poslední, který se rozpojí.“[9]

Zásuvky mohou být jednofázové i vícefázové (typicky třífázové). Provedení zásuvek podléhá technickým standardům, které jsou však v různých částech světa odlišné. V této práci se budu nadále zabývat pouze jednofázovými zásuvkami 16A/250V tzv. „francouzského typu“ (se zemním kolíkem), které se používají v České republice (viz obr.3).



obr. 3 Zásuvka se zemním kolíkem

„Podle způsobu montáže se zásuvky dělí na:

- Nástěnné
- Polozapuštěné
- Zapuštěné
- Panelové

Podle stupně krytí a provedení jsou zásuvky:

- Obyčejné
- Do vlhka
- Venkovní
- Nepromokavé

Podle tvaru kontaktů jsou pak zásuvky pro vidlice s válcovými a plochými kolíky.“[10]

## 7 Elektrické kontakty

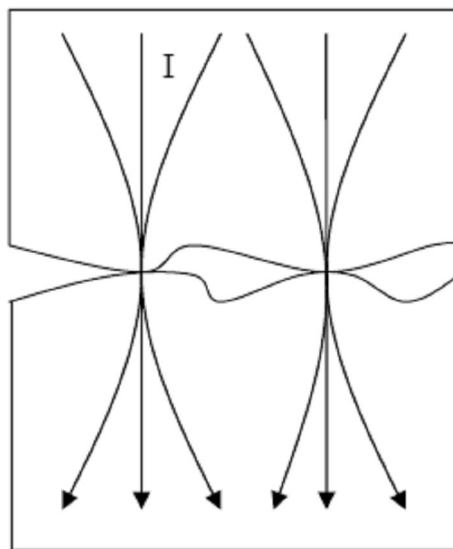
„Místo, v němž dochází k přerušování, ale také k propojování proudové dráhy, vykazuje oproti jejím ostatním úsekům některé rozdílné vlastnosti. Vodivé spojení dvou oddělovaných částí proudové dráhy se realizuje pomocí *kontaktů*.

Přerušování proudové dráhy se může uskutečňovat za různých provozních podmínek, např. s proudem, bez proudu, při různých napětích, s velkou hustotou spínání atd. Tato skutečnost řadí kontakty mezi nejdůležitější části přístrojů. V současné době se kladou na kontakty značné požadavky, a proto se jim věnuje značná pozornost. Všeobecně můžeme požadavky kladené na kontakty charakterizovat takto:

- malý stykový odpor,
- velká odolnost proti mechanickému opotřebení (zejména proti otěru),
- velká odolnost proti svaření,
- velká odolnost proti opalování elektrickým obloukem,
- optimální vliv na vývoj deionizačních pochodů po uhasnutí vypínacího oblouku,
- dobrá spínací schopnost.“[7]

### 7.1 Vznik stykového odporu:

„Povrch kontaktu není dokonale rovný, proud tedy musí protékat jen vodivě spojenými úžinami (ploškami). Čím větší je nerovnost povrchu kontaktu, tím větší je stykový odpor. Čím větší je stykový odpor, tím více se kontakt zahřívá a hrozí tak tavení nebo svaření kontaktu.



obr. 4 Vznik úžiny

Velikost stykových plošek závisí na vlastnostech kontaktu (tvaru a materiálu) a také na přtlaku. Rozhodující je způsob deformace materiálu, ke které dochází v místě styku. Podle tvaru kontaktů a vzájemného geometrického uspořádání rozeznáváme:

- bodový styk,
- přímkový styk,
- plošný styk

Bodového styku dosáhneme, dotýkají-li se dva kulové povrchy nebo koule s rovinou nebo dotýkají-li se zkříženě dvě válcové plochy. Přímkový styk se vytvoří při styku válce nebo kužele s rovinou podél povrchy tělesa. Plošný styk dostáváme, stýkají-li se kontakty dvěma rovinnými plochami.“[7]

V případě kontaktů ve spojení zásuvka-zástrčka, nastává styk přímkový (resp. dva paralelní přímkové styky).

## 8 Měření úbytků napětí

Měření k této bakalářské práci bylo prováděno na zásuvkách nízkého napětí 16A/250V, které byly k tomuto účelu namontovány na speciálně vyrobený panel (viz obr. 6).

Jako sledovaný parametr jsem zvolil měření úbytku napětí na jednotlivých kontaktech (L, N, PE) při zatížení. Maximální protékaný proud jsem zvolil dvojnásobek jmenovitého proudu. U všech měřených zásuvek je  $I_n = 16A$ . Zajímalo mě zejména srovnání velikosti úbytku napětí mezi zásuvkami používanými již několik let (v různých prostředích a s různým využitím) a zásuvkami novými. Při předpokladu správně provedeného měření mohu posoudit vliv prostředí ve kterém byly zásuvky používány na velikost úbytku napětí (jakožto charakteristického znaku kontaktu).

Seznam zásuvek použitých pro měření:

### *Nové zásuvky*

- Schneider Electric: UNIKA, s dětskými clonkami
  - jmenovité napětí  $U_n = 250V$
  - jmenovitý proud  $I_n = 16A$
  - odpor izolace:  $> 5M\Omega$  při 500V
  - dielektrická pevnost:  $> 2000V$
  - životnost: 10 000 cyklů při  $1,25 \times I_n$  a 250V, při účinníku  $\cos \varphi = 0,8$
- Schneider Electric: Cedar Plus, 16A/250V, IP44, nástěnná
- ABB: Tango, 16A/250V
- Karlik Elektrotechnik: Liza Panelák, 16A/250V, IP20, nástěnná

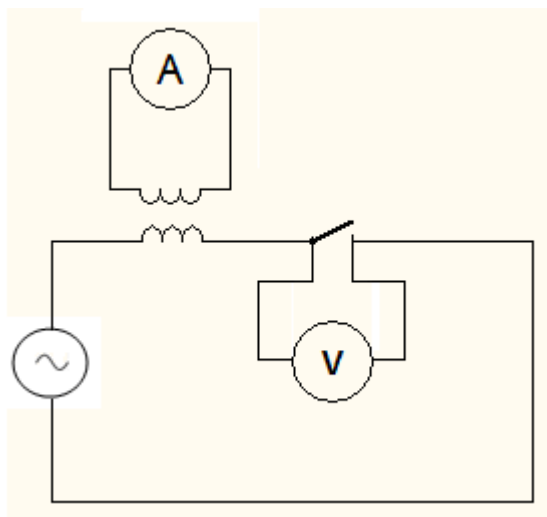
### *Používané zásuvky*

- Elektro-Praga (1): 16A/250V – Zásuvka byla umístěna 23 let v domácí dílně; sloužila pro občasné připojení ručního nářadí.
- Elektro-Praga (2): 16A/250V – Zásuvka byla umístěna 18 let v domácnosti; sloužila pro stálé připojení televize.
- Elektro-Praga (3): 16A/250V – Zásuvka byla umístěna 18 let v domácnosti; sloužila pro občasné připojení domácích spotřebičů.

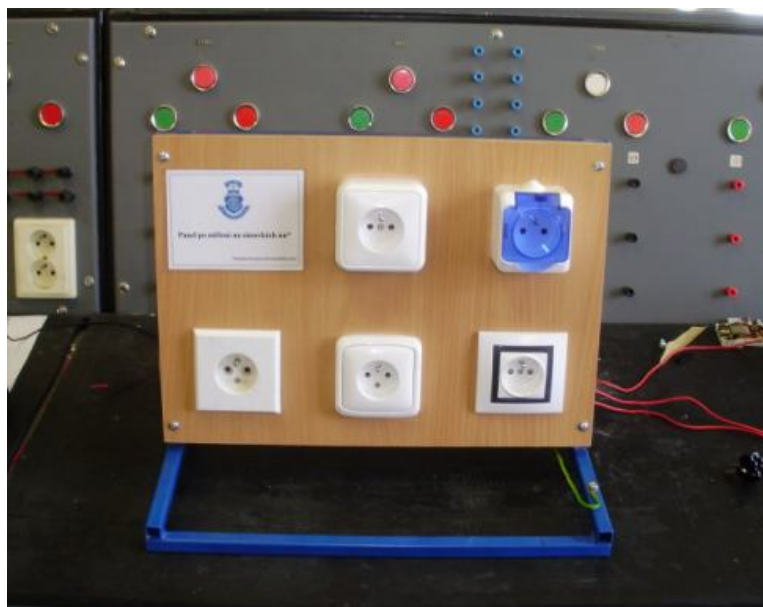
Seznam použitých měřicích přístrojů:

- Jednofázový zdroj napětí a proudu: (v.č.: 5200-363/25 016)
- Multimetry: Metex M-3860M (v.č.: 926965)  
CEM DT-9602 (v.č. 06109778)
- Klešťový A-metr ESCORT ECT-670 (AC\*DC CURENT TRANSDUCER)

Pracoviště bylo zapojeno dle následujícího schématu:



obr. 5 Zapojení pracoviště



obr. 6 Panel pro měření na zásuvkách

Podmínky při měření:

- Teplota: 23 °C
- Tlak: 948 hPa
- Relativní vlhkost: 64%

Tabulky naměřených úbytků napětí u jednotlivých zásuvek:

Schneider Electric: UNIKA

I	$\Delta U$ [mV]		
[A]	L	N	PE
2	4,5	2,8	6
4	6,5	4,5	10,1
6	9,8	6,2	15
8	12,4	8,9	18,5
10	14,8	11,1	23,6
12	18,3	12,8	27,2
14	21	14,8	31,1
16	22,2	17,3	35,7
18	25,2	19	39
20	25,9	21,6	44
25	31,1	26,8	54,5
30	37	32,1	60
32	40,3	34,5	62,1

Schneider Electric: Cedar Plus

I	$\Delta U$ [mV]		
[A]	L	N	PE
2	4,8	2,1	4
4	7,9	4	5,5
6	8,6	4,7	8,2
8	11,8	6,5	10
10	14,9	8,6	12,8
12	17,1	10	14,9
14	19,5	11,7	17,2
16	22,7	13,6	20
18	25,9	14,6	21,5
20	28,1	16,2	23,3
25	35,2	22,2	30
30	42	24,2	35,5
32	50	25,7	40

Karlik Elektrotechnik: Liza Panelák

I	$\Delta U$ [mV]		
[A]	L	N	PE
2	6	2,7	6,7
4	13	7	10
6	13,2	10	12,3
8	17	11,4	15,1
10	22,5	12,5	17,3
12	26,3	14,2	20
14	29,6	16,2	23,6
16	34	19,1	26
18	38,6	19,7	29,9
20	42,6	22,6	33,1
25	57,8	25	48,5
30	66	29	42,4
32	70	29,5	45,6

ABB: Tango

I	$\Delta U$ [mV]		
[A]	L	N	PE
2	1,1	1,4	4,6
4	2,3	2,7	8,7
6	3,7	4	11,7
8	4,7	5,2	15,5
10	5,7	6,5	20
12	7,2	8	24,6
14	8,3	9	27,9
16	9,5	10,3	31
18	10,6	11,7	34,8
20	11,7	13	39
25	14,7	16	49
30	18	19,6	56
32	18,7	21	60



Elektro-Praga (1)

I	$\Delta U$ [mV]		
[A]	L	N	PE
2	15	4,6	30
4	29,1	7,8	57,4
6	33,7	10,3	85,9
8	37,5	16,1	112
10	44,1	18,9	133,8
12	47,8	22,4	145,1
14	56,7	25,7	159,3
16	59,2	28,8	171,1
18	62,3	33,3	182,7
20	65,1	35,1	193,1
25	65,8	48,1	192
30	74,3	53,1	214
32	75	57,2	218

Elektro-Praga (2)

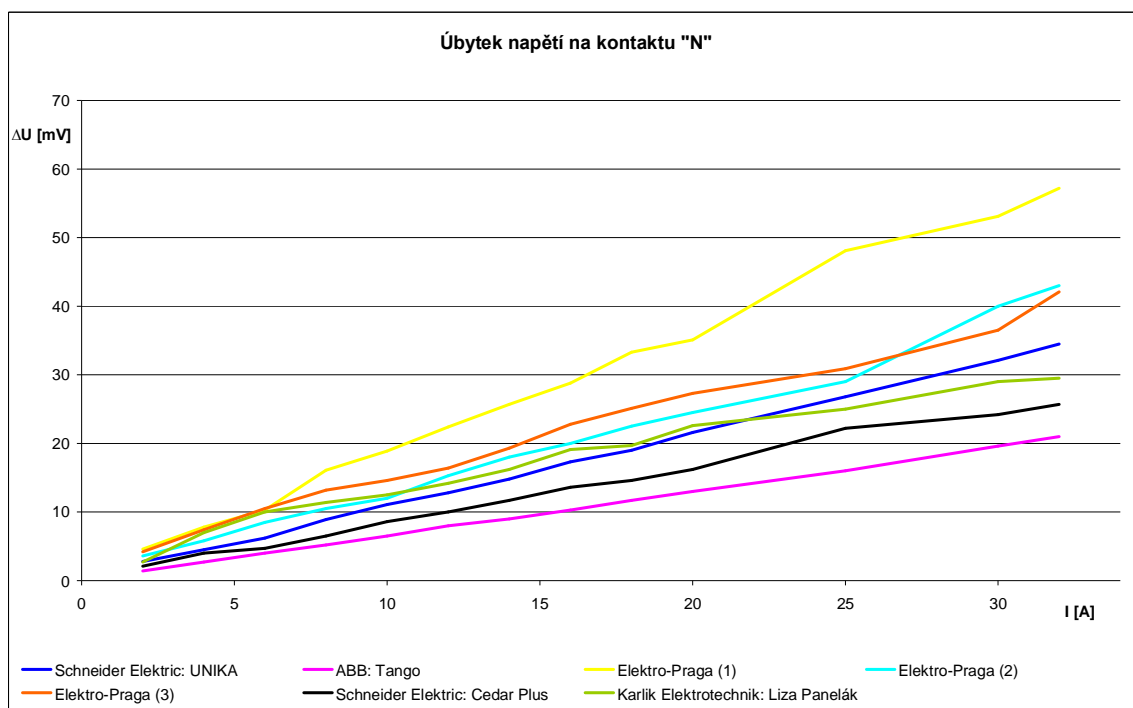
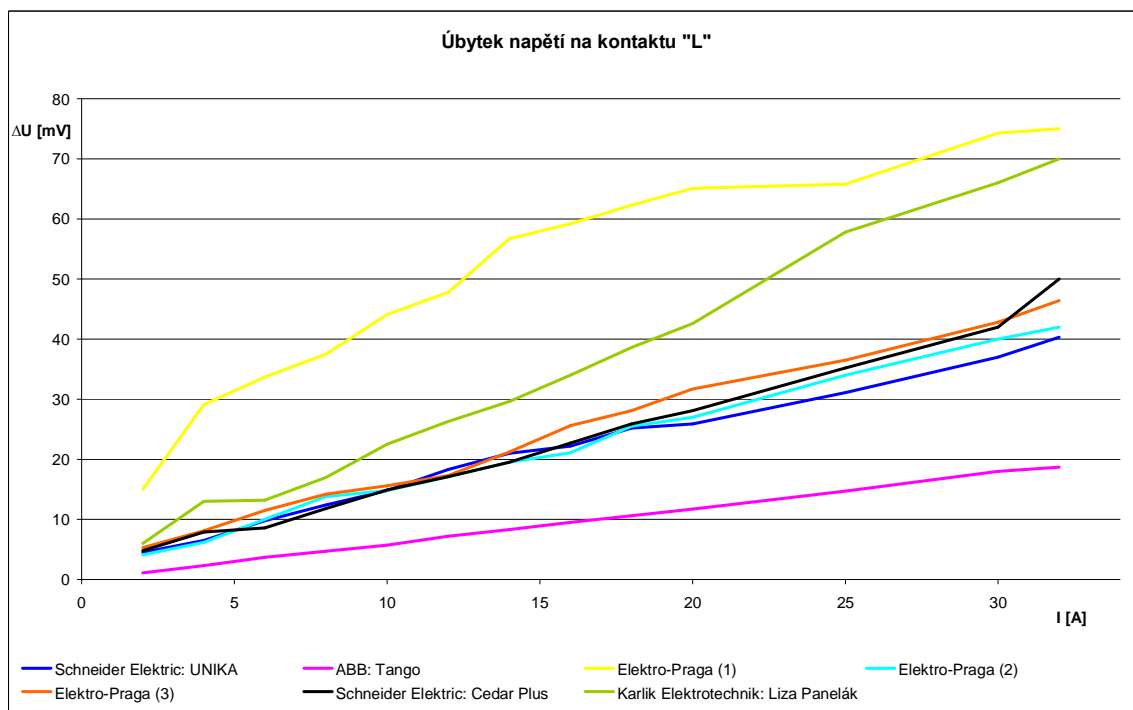
I	$\Delta U$ [mV]		
[A]	L	N	PE
2	4,1	3,6	7
4	6,2	5,8	12,5
6	10	8,5	17
8	13,8	10,5	23
10	14,8	12	29
12	17,1	15,3	34,5
14	19,5	18	40
16	21,1	20	44,5
18	25,5	22,5	51,5
20	27	24,5	55
25	34	29	70
30	40	40	83
32	42	43	89

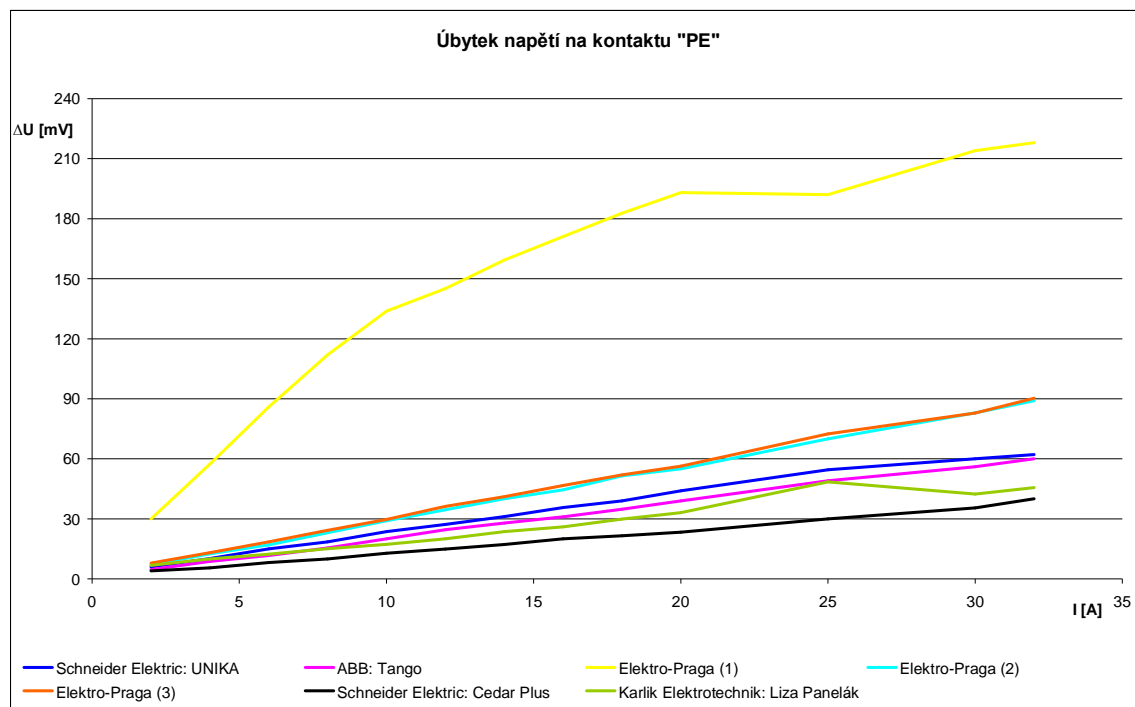
Elektro-Praga (3)

I	$\Delta U$ [mV]		
[A]	L	N	PE
2	5,3	4,2	7,9
4	8,1	7,4	13,1
6	11,5	10,5	18,5
8	14,2	13,2	24,3
10	15,6	14,6	29,7
12	17,3	16,4	36,2
14	21,2	19,3	41,1
16	25,6	22,8	46,7
18	28,1	25,1	52
20	31,7	27,3	56,3
25	36,5	30,9	72,4
30	42,8	36,5	82,9
32	46,4	42,1	90,3

Z tabulek naměřených hodnot je patrné, že největší úbytek napětí na kontaktech vykazuje zásuvka 23 let používaná v domácí dílně, zde označená jako Elektro-Praga (1). Jedná se o nejdéle používanou zásuvku z vybraného vzorku. Jako hlavní příčinu největšího úbytku napětí na kontaktech, kromě stárnutí, vidím v prostředí ve kterém byla tato zásuvka používána. Domácí dílna, ve které byla umístěna, je nevytápěná. Dochází v ní k časté změně teplot, vlhkosti vzduchu a vzhledem k účelu využití je zde také zvýšená prašnost. V tomto směru jsme si tedy ověřili vliv prostředí na spínací přístroje nízkého napětí, konkrétně zásuvky.

Závislost úbytku napětí na protékáním proudem, je dobře patrna z grafů, získaných z naměřených hodnot (viz str. 30, 31).





## 9 Závěr

Pro zpracování této bakalářské práce jsem čerpal informace obsažené v literatuře a z připomínek odborných pracovníků. Mou snahou bylo prezentovat problematiku spolehlivosti takovým způsobem, jak jsem ji za dobu, po kterou se jí věnuji pochopil a zdůraznit dle mého názoru nejpodstatnější okolnosti, které ji ovlivňují.

Zásuvky jsou v domovních elektroinstalacích jedním z nejrozšířenějších a nejdůležitějších instalačních přístrojů a jsou každodenně využívány širokou veřejností, včetně dětí, pro připojování spotřebičů různých výkonů. Je zde proto požadavek jejich bezpečné a spolehlivé funkce po mnoho let, protože vlivem špatného provedení kontaktů, či špatné volby jejich materiálu, může po určité době dojít k zahřívání kontaktů, v krajním případě pak k požáru. Toto je způsobeno vlivem zvětšujícího se přechodového odporu na kontaktech a tím i vyšším úbytkem napětí na nich.

V měření, které jsem provedl k této bakalářské práci jsem si ověřil především jakým způsobem ovlivňuje stárnutí a vlivy prostředí jeden z parametrů, které zásuvku charakterizují a to úbytek napětí na kontaktech. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulkách a v grafech v příloze.

Jako možné pokračování v této práci bych viděl vyřešení problému přesného měření teploty přímo na kontaktech, či simulaci vlivů okolního prostředí v klimatické komoře, která je k dispozici v laboratořích katedry. V mé práci jsem totiž kromě zásuvek nových, pracoval pouze se zásuvkami používanými v reálném prostředí.

## **Použitá literatura:**

- [1] Novotný R.: Spolehlivost a diagnostika, VUT Brno – Fakulta elektrotechniky a informatiky, Učební texty vysokých škol; ISBN 80-214-1993-8
- [2] Calabro S. R.: Základy spolehlivosti a jejich využití v praxi, SNTL Praha 1965 (z anglického originálu Reliability Principles and Practices, 1962, přeložili: ing. Libor Kubát, CSc. , ing. Josef Kerner )
- [3] Polsterová H.: Spolehlivost v elektrotechnice, VUT Brno – Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, skriptum
- [4] Mykiska A.: Bezpečnost a spolehlivost technických systémů, České vysoké učení technické v Praze – Fakulta strojní, 2004; ISBN 80-01-02868-2
- [5] Hurt J.: Teorie spolehlivosti, UNIVERZITA KARLOVA v Praze – Fakulta matematicko-fyzikální, Státní pedagogické nakladatelství Praha 1984
- [6] Holm R.: Electric contacts handblook; Springer – Verlag, Berlin 1958
- [7] Havelka O. a kol.: Elektrické přístroje, SNTL Praha 1985
- [8] Novotný V.: Elektrické přístroje, ČVUT, 2001, ISBN 80-01-02306-0
- [9] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Zásuvka\\_\(elektrotechnika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Zásuvka_(elektrotechnika))
- [10] Kolektiv autorů: Dílenská příručka II učebních oborů elektro, Dona 2002
- [11] <http://www.fs.vsb.cz/akce/1999/ASR99/Proceedings/papers/17/17.htm>